0~1 岁婴儿情绪偏向的发展：近红外成像研究[1]*

张丹丹[1,2] 李宜伟[1] 于文汶[2] 莫李澄[1,2] 彭程[3] 刘黎黎[3]

（1 四川师范大学，脑与心理科学研究院，成都 610066；
2 深港脑科学创新研究院，深圳 518055
3 北京大学第一医院，儿科，北京 100034）

摘 要 “负性偏向”指人们往往优先感知、注意和记忆负性（而非正性）信息，负性偏向是情绪领域能观察到的最稳定的情绪加工现象，普遍存在于幼儿、儿童、青少年和成人之中。但是在婴儿中如何呢？本研究采用近红外成像技术，考察了 45
0 岁新生儿（日龄5.2 ± 1.7 天，23
男孩）和 45
1 周岁婴儿（月龄12.7 ± 1.4 月，21
男孩）对快乐和愤怒语音韵律的大脑反应。结果表明，在大脑右半球的额叶、颞叶和顶叶的脑功能连接中出现了情绪和组别的交互作用：在新生儿组，快乐语音条件下的脑功能连接强度高于愤怒语音条件；在婴儿组，愤怒语音条件下的脑功能连接强于快乐语音条件。此结果证实了我们的假设：人类刚出生时情绪加工偏向是正性的，之后才转变成为负性。因此，“负性偏向”不是与生俱来的，情绪加工偏向在个体发展的早期阶段会发生转变。本研究首次从发展的角度揭示了情绪偏向的变化，该发展规律不但有利于及早发现自闭症等情绪和认知发育障碍，还能指导家长运用恰当的交流和抚养方式科学育儿。

关键词 负性偏向，新生儿，婴儿，情绪性韵律，颞上回，额下回

1 引言

情绪领域最核心的现象或理论叫做情绪加工的负性偏向（negativity bias），它指相比于正性信息，人们往往优先加工负性信息并对负性信息投入更多的感

1收稿日期：2022-10-24
*国家自然科学基金（32271102; 31970980; 31920103009）、广东省“脑科学与类脑研究”重大科技专项（2018B030335001）、国家社会科学重大项目（20&ZD153）、深港脑科学创新研究院（2021SHIBS0003）支持。
通讯作者：张丹丹, E-mail: zhangdd05@gmail.com

知、注意、记忆等认知资源（Ito et al., 1998）。负性情绪偏向是人类在进化中逐渐形成的，因为只有那些能对威胁性信息（例如野兽的身影）做出迅速反应的祖先才能生存并繁衍后代。

大量研究表明，负性比正性信息更显著地激活外周和中枢神经系统。例如 Cacioppo 团队的系列实验发现（Cacioppo et al., 2014），当给成人被试呈现情绪强度相同的正性和负性图片时，被试报告负性图片比正性图片对他们的身心产生了更显著的影响，且负性图片在他们大脑中诱发出了更强的电生理反应（晚正电位的幅度更高）。同时不少研究还发现，负性比正性事件让我们投入更多的注意、花费更多的时间去思考和归因，进而更牢固地在海马中存储下来（Bowen et al., 2018）。例如，全球范围内 17 个国家的生理心理测量研究发现，成人在浏览网络新闻时对负性新闻更加敏感、关注时间更长、记忆更准确（Soroka et al., 2019）。除了成人阶段，负性偏向现象也频繁出现于幼儿、儿童和青少年阶段。例如， 2.5~3 岁的幼儿与母亲交流时使用消极词汇的频率显著高于使用积极词汇的频率（Fivush, 1991）；6~17 岁的儿童和青少年在评定模棱两可（接近中性情绪）表情时，通常认为这些表情是更偏负性的（Marusak et al., 2017）。因此，情绪领域已被大量研究证实的结论是：儿童、青少年和成人处理正性和负性情绪信息的方式存在不对称性，即情绪加工存在较普遍的负性偏向（Baumeister et al., 2001; Cacioppo et al., 2014）。

那么，负性偏向是人类与生俱来的特质吗？为了回答这个问题，研究者们将目光投向了婴儿甚至新生儿。（注：新生儿定义为出生后 0~28 天的孩子，婴儿定义为 1~12 月龄的孩子）。在年龄大于半岁的婴儿中，目前的研究较一致地发现了负性偏向。例如：恐惧（而不是快乐）面孔在 6 月龄婴儿的大脑上诱发了比中性面孔更强的位于脑中央区的事件相关负成分（Hoehl & Striano, 2010）；7 月龄婴儿对恐惧面孔比对快乐面孔注视的时间更长，中央区负成分的幅度更大（Peltola et al., 2009），对愤怒韵律的词语比对快乐韵律的词语表现出更明显的右侧颞叶的激活(Grossmann et al., 2010)。

与之不同，小婴儿（小于半岁）和新生儿的情绪实验虽然有时也会发现负性偏向（例如 Cheng et al., 2012），但更多地时候发现的是他们对情绪信息的正性加工偏向。例如，4 月龄婴儿对高兴面孔的注视时间长于愤怒面孔（LaBarbera et al., 1976），且他们对高兴（相比于恐惧）面孔注视的对象显示

出幅度更大的额区及中央区负成分（Rigato et al., 2010）；5~6 月龄婴儿更喜欢听积极韵律的语音(Fernald, 1993)，他们在听赞赏性（相比于责备性）语音时表现出更多的微笑（Singh et al., 2002）。

目前在新生儿阶段已开展了五项考察情绪加工偏向的研究。早期的两项行为学研究发现，新生儿对快乐面孔的注视时间长于对恐惧面孔的注视时间（Farroni et al., 2007）；快乐韵律的句子比愤怒和悲伤韵律的句子能引起新生儿更长时间的睁眼反应（Mastropieri & Turkewitz, 1999）。但是，Cheng 等人（2012）在此领域的首项大脑观测实验发现，恐惧韵律的音节比快乐韵律的音节（双音节 dada）在新生儿的额−中央区诱发了幅度更大的脑电成分。为了证实 Cheng 等人（2012）的发现，张丹丹等人（2019）利用与 Cheng 等人（2012）相同的 odd-ball 范式以及语音刺激材料（情绪性韵律的双音节 dada），却得到了相反的结果：快乐语音诱发的“失匹配脑电反应”幅度明显大于愤怒和恐惧语音。同时，该课题组的另一项近红外成像研究也发现，快乐韵律的句子比愤怒和恐惧韵律的句子在新生儿大脑皮层激活了更广泛的区域，主要包括右半球的颞上脑区和额下脑区（Zhang et al., 2019）。

综合上述证据，我们假设：从出生到成年的发展过程中，人类的情绪加工偏向可能会发生转变：新生儿和小婴儿可能表现为正性偏向，大婴儿及之后的发展阶段则表现为越来越稳定的负性偏向。但是目前，学者们仅对该假设的后半段达成了共识，即：大量研究表明，婴儿在发育到 6~7 月龄时可表现出对负性情绪信息的加工偏向，且此负性偏向随年龄增加而逐渐趋于稳定（Grossman, 2010; Vaish et al., 2008）。对于新生儿和小婴儿阶段的情绪加工偏向，由于目前积累的证据还非常少，尚需进一步探讨。本研究的目的有二：准确揭示新生儿阶段的情绪加工偏向，同时完整验证我们的“情绪偏向发展”假设。为此，本研究在以下方面进行了努力：第一，在研究中采用相同的实验范式分别考察两个年龄组的被试对同一套情绪材料的加工偏向。第二，采用大脑观测指标而不是行为学指标作为因变量，这是因为婴儿特别是新生儿很难听懂实验指导语，他们在实验中的行为具有随意性，导致行为学指标的敏感性较低（Grossmann et al., 2010）。第三，考虑到婴儿被试很难按要求在实验过程中保持安静、不眨眼，我们采用抗干扰性较强的近红外成像技术，取代对眼动、体动非常敏感的脑电技术（例如 Cheng 等人（2012）的脑电数据混入了大量的运动伪迹）。第四，

采用情绪韵律语音作为实验材料，这是因为：1）新生儿和婴儿的听觉系统已基本发育成熟，但视觉功能尚在快速发展中，因此他们对听觉刺激更敏感；2）婴儿特别是新生儿的语义加工能力不足，难以理解语音中的情绪性语义。而情绪韵律是通过语音的频率、响度及节律等特征的组合来表达情绪信息的，这样的材料更适合婴儿研究。

本研究以新生儿（0 岁）和大婴儿（1 周岁）为研究对象，通过比较他们对快乐和愤怒情绪韵律（emotional prosody）的大脑功能连接，检验情绪偏向的发展假设。已有的成人（Ethofer et al., 2012; Grandjean et al., 2005）、婴儿（Grossmann et al., 2010）和新生儿（Telkemeyer et al., 2009; Zhang et al., 2019）研究发现，大脑主要依赖右半球（而非语言优势左半球）的颞叶、额叶和顶叶加工语音中的韵律信息。据此，并参考已有的主流研究发现，本研究预期：新生儿阶段在右半球表现出对快乐韵律比对愤怒韵律更强的脑功能连接，而 1 岁婴儿则在右半球表现出对愤怒韵律比对快乐韵律更强的脑功能连接。

2 方法

2.1 被试

被试招募于北京大学第一医院儿科。根据已有的新生儿情绪加工近红外成像（NIRS）研究的效应量（Zhang et al., 2019），每组纳入 20 名被试即可获得高于 90%的统计检验力（power）。考虑到本研究为跨年龄的横断面设计，对被试量的要求较高，我们决定每组纳入 45 名被试以确保足够高的统计检验力。在实验数据采集过程中，如被试突发哭泣或体动过于明显，则该被试的数据不纳入后续分析，重新招募被试，直至两组各搜集满 45 例有效数据为止。

45

年龄为 0~7 天（5.2 ± 1.7 天，M ± SD）的健康足月新生儿（22 名女孩；胎龄：38~41 周）参与了本研究。纳入标准：（a）出生体重在正常胎龄的体重范围内；（b）数据采集时无临床症状；（c）数据采集前至少 48 小时内未使用镇静剂或药物；（d）耳声发射听力筛查结果正常（OAE, ILO88 Dpi, Otodynamics Ltd, Hatfield, UK）。排除标准：（a）缺氧缺血性脑病；（b）脑室内出血或脑白质损伤；（c）严重先天畸形；（d）中枢神经系统感染;（e）代谢紊乱；（f）出

生窒息史。

45 名年满 1 周岁（12.7 ± 1.4 月）的健康婴儿（24 名女孩）参与了本研究。纳入标准：（a）足月出生儿；（b）数据采集时无临床症状；（c）数据采集前至少 48 小时内未使用镇静剂或药物；（d）Griffiths 神经发育评估量表第三版（The Griffiths Mental Development Scales, GMDS; Griffiths, 1984），达到中国常模的正常范围，即总分 90 分或以上；（e）Bayley 婴幼儿发展量表第三版（Bayley Scales of Infant Development, Bayley-Ⅲ; Bayley, 2006），达到中国常模“中上”或“优秀”等级，即智力和运动量表的发展指数均达到 110 分或以上。排除标准：（a）脑缺氧缺血或脑损伤史；（b）惊厥、癫痫史；（c）严重先天畸形；（d）中枢神经系统感染史。

实验前，被试的法定监护人签署知情同意书，同意将匿名的临床信息和近红外数据用于科学研究。本研究方案得到了北京大学第一医院伦理委员会的批准。

2.2 实验设计和实验材料

采用 2×3 的混合实验设计。2 为被试间变量：新生儿和 1 周岁婴儿两组被试。3 为被试内变量：愤怒、快乐、中性三种情绪语音。

语音材料选自中国语音情绪库（Liu & Pell, 2012），由母语为汉语的成年女性录音。句子材料为符合句法但没有句意的“伪句”，例如：“他们在楼谷中投玩”、“我扶打过这个皮魂”。每句平均有 8.7 ± 1.1 个字，持续 1 到 2 s。我们分别选用了愤怒、快乐和中性句子各 10 个。编辑这 30 段语音材料，统一它们的平均声强。

邀请大学生（n = 20，男性 10 人，年龄 = 20.8 ± 1.9 岁）对 30 个句子进行效价（1-最不愉悦，9-最愉悦）和唤醒度评分（1-最平静，9-最兴奋）。结果显示，三类句子的效价评分差异显著，$F(2,27) = 77.2, p < 0.001, = 0.851$（快乐 6.40 ± 0.70 > 中性 4.40 ± 0.84 > 愤怒 2.50 ± 0.53；pairwise $ps < 0.001$，Bonferroni 矫正）。唤醒度评分差异显著，$F(2,27) = 43.8, p < 0.001, = 0.764$，快乐（5.90 ± 0.74）和愤怒语音（6.90 ± 0.88）的唤醒度高于中性语音（2.90 ± 1.29；pairwise $ps < 0.001$），前两者的唤醒度无显著差异（$p = 0.099$）。

2.3 实验流程

实验在医院儿科的单人病房进行。通过一对音响（EDIFIER R26T, 中国深圳）播放声音刺激（Cheng et al., 2012; Zhang et al., 2014），音响位于婴儿头顶约8 厘米处（图 1A）。情绪语音材料的声强约 60 分贝，背景噪声强度约 30 分贝。当婴儿处于安静清醒或浅睡眠状态时进行语音播放和近红外数据记录。注：由于婴儿特别是新生儿每日大部分时间处于睡眠状态，新生儿和婴儿研究通常不区分清醒状态和浅睡眠状态，但需与深睡眠状态相区别（Cheng et al., 2012; Gómez et al., 2014; Wu et al., 2022; Zhang et al., 2019）。

实验分为 3 个情绪 block（愤怒、快乐、中性），每个 block 长度为 3 min，block 之间休息 2 min，因此实验总长度为 13 min。3 个 block 的顺序在被试间平衡。每个 block 内含 10 个句子，重复六遍，即共播放 60 个句子，播放顺序完全随机；句子平均长度为 1.5 s，每 3 s 播放一个句子。

2.4 近红外数据采集

使用 NIRScout 1624 系统（NIRx Medical Technologies, LLC.Los Angeles, CA）以连续波模式记录脑血氧的变化，含 4 个 LED 发射器（强度 = 5 mW/波长）和 10 个双波长（760 和 850 nm）探测器，数据采样率为 4 Hz。根据课题组前期研究发现的新生儿情绪加工敏感脑区（Zhang et al., 2019），将光学探头置于大脑的额叶、颞叶和颞顶交界，主要覆盖双侧的额下回、颞上回、缘上回、角回，共 14 个光学通道（图 1B）。发射器和探测器的平均距离为 2.5 cm（新生儿）和 2.7 cm（婴儿）。使用直径为 34 cm 和 46 cm 的 NIRS-EEG 兼容帽（EASYCAP, Herrsching, Germany）固定光学探头。

为了确定 NIRS 通道对应的皮层结构，使用婴儿头模（Brigadoi et al., 2014）根据 EEG 10/10 系统识别每个通道光源和探测器的中心点 MNI 坐标，并将此坐标对应至婴儿的 AAL（automated anatomical labeling; Shi et al., 2011; Tzourio-Mazoyer et al., 2002），14 个通道对应的皮层位置见表 1。

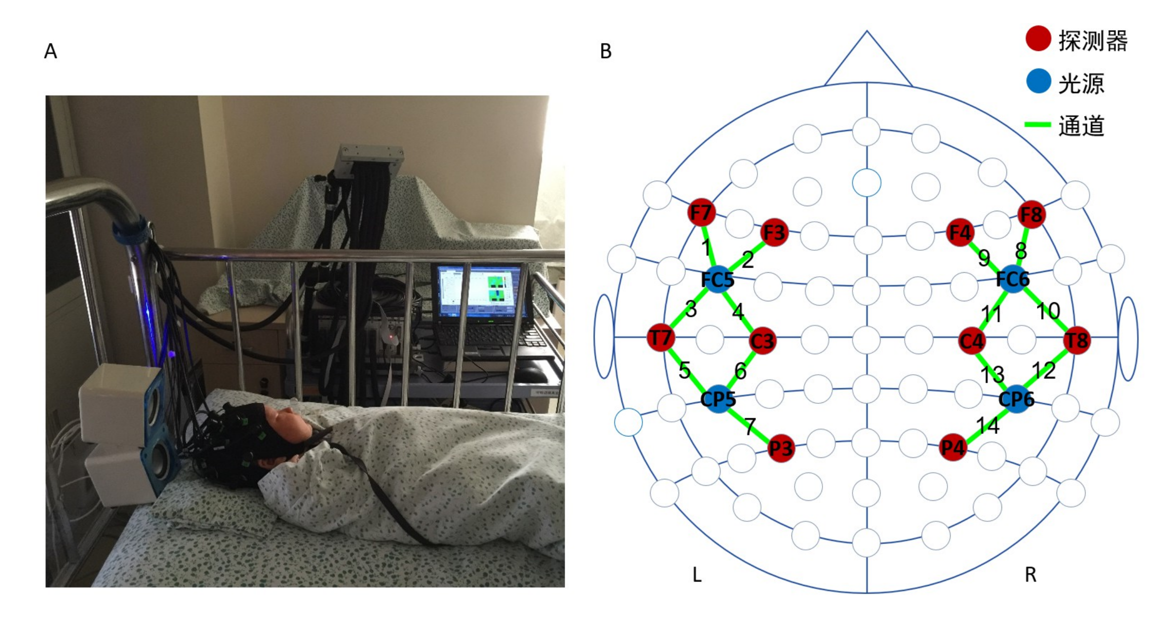


图 1　研究方法示意图。A，实验中的新生儿。B，近红外光源和探测器在皮层构成的 14 个探测通道。

表 1　近红外通道的空间定位（婴儿头模）

通道编号	解剖位置（AAL 标签）	通道编号	解剖位置（AAL 标签）
1	Inferior frontal gyrus (triangular) left	8	Inferior frontal gyrus (triangular) right
2	Inferior frontal gyrus (triangular) left	9	Inferior frontal gyrus (triangular) right
3	Superior temporal gyrus left	10	Superior temporal gyrus right
4	Postcentral gyrus left	11	Postcentral gyrus right
5	Superior temporal gyrus left	12	Superior temporal gyrus right
6	Supramarginal gyrus left	13	Supramarginal gyrus right
7	Angular gyrus left	14	Angular gyrus right

2.5 近红外数据处理和统计分析

使用 nirsLAB 分析包（v2016.05, NIRx Medical Technologies, USA）进行数据预处理，依次进行：运动伪迹的识别和校正（阈值 = 5），带通滤波（0.01–0.2 Hz），光强数据转换为光密度改变（ΔOD），并根据修正的 Beer–Lambert 定律（Cope & Delpy, 1988）将两个波长的△OD 转换为氧合血红蛋白和脱氧血红蛋白的相对浓度变化（Δ[HbO]和 Δ[Hb]）。

使用 RStudio 软件包（v2021.09.0, RStudio, USA）进行 NIRS 通道间相关值的计算和统计。对每种情绪条件的 3 min Δ[HbO]序列在 NIRS 通道间两两配对，

计算 Pearson 相关系数 r。经 K-S 正态检验，确认 r 值符合正态分布，故不再将 r 值转换为 Fisher's z。14 个 NIRS 通道共得到 14×13÷2 = 91 个通道间的连接，对它们分别进行多因素重复测量方差分析：2（新生儿和婴儿）× 3（愤怒、快乐、中性），采用 Greenhouse-Geisser 方法对自由度进行校正, 采用 Bonferroni 方法进行事后多重比较矫正。最后对单个脑连接的统计指标采用 FWE 进行多重比较矫正（91 次），显著性水平设定为 $p < 0.05$。脑连接结果使用 BrainNet Viewer 软件进行展示（Xia et al., 2013）。

3 结果

重复测量方差分析，采用 FEW 进行 91 次的多重比较矫正之后发现：

第一，情绪类别主效应在 60 对脑连接上是显著的（$F(2,176) \geq 8.518$, $p_{(FWE)} \leq 0.044$），表现为：愤怒和快乐语音比中性语音引起的脑功能连接更强，愤怒和快乐条件间无显著差异。这些条件间差异显著的脑连接主要分布于右半球的脑区之间，以及双侧半球之间（图 2）。

第二，组别主效应在所有的脑连接上均

显著。

第三，情绪和组别的交互作用在 21 对脑连接上显著（$F(2,176) \geq 8.355$, $p_{(FWE)} \leq 0.040$；表 2）。首先，分别在两组内对三种情绪条件进行两两比较（图 3）。在新生儿组发现：1）上述情绪主效应在 3/21 对（愤怒 > 中性；$t(44) \geq 2.932$, $p_{(FWE)} \leq 0.039$）和 21/21 对（快乐 > 中性；$t(44) \geq 3.543$, $p_{(FWE)} \leq 0.040$）脑连接上显著；2）在 14/21 对脑连接上发现了显著的正性偏向（快乐 > 愤怒；$t(44) \geq 3.932$, $p_{(FWE)} \leq 0.046$），这 14 对脑功能连接中有 12 对分布在右半球（右半球的额下区、颞上区、缘上区以及角回之间的连接），2 对为跨半球的脑功能连接。在婴儿组发现：1）情绪主效应在 20/21 对（愤怒 > 中性；$t(44) \geq 3.926$, $p_{(FWE)} \leq 0.047$）和 3/21 对（快乐 > 中性；$t(44) \geq 4.123$, $p_{(FWE)} \leq 0.023$）脑连接上显著；2）在 10/21 对脑连接上发现了显著的负性偏向（愤怒 > 快乐；$t(44) \geq 4.055$, $p_{(FWE)} \leq 0.030$），这 10 对脑功能连接中有 8 对分布在右半球（右半球的额下区颞上区、缘上区以及角回之间的连接），2 对为跨半球的脑功能连接。

其次，分别在三种情绪条件内进行组间比较（图 3，表 2）。在快乐情绪条

件下发现：有 5/21 对脑连接表现为新生儿组的强度大于婴儿组（新生儿 > 婴儿；$t(44) \geq 3.820$, $p_{(FWE)} \leq 0.022$）。这 5 对脑功能连接中有 4 对分布在右半球（右半球的额下区、颞上区、缘上区以及角回之间的连接），1 对为跨半球的脑功能连接。在愤怒情绪条件下发现：有 11/21 对脑连接表现为婴儿组的强度大于新生儿组（婴儿 > 新生儿；$t(44) \geq 3.588$, $p_{(FWE)} \leq 0.049$）。这 11 对脑功能连接中有 7 对分布在右半球（右半球的额下区、颞上区、缘上区以及角回之间的连接），4 对为跨半球的脑功能连接。在中性情绪条件下未发现显著的组间差异。

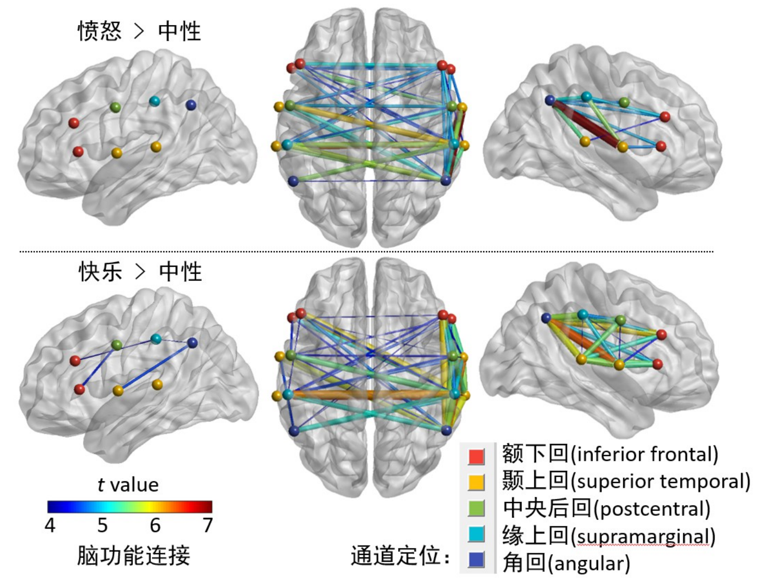


图 2　情绪类别对脑功能连接的主效应。第一行图：愤怒语音比中性语音引起的更强的脑功能连接（愤怒 > 中性）。第二行图：快乐语音比中性语音引起的更强的脑功能连接（快乐 > 中性）。对主效应显著（FWE 矫正 91 次）的脑功能连接，在愤怒、快乐、中性三种条件间进行两两比较（Bonferroni 矫正），图中为情绪间差异显著的脑功能连接（FWE 矫正 91 次）。脑功能连接的颜色（见 colorbar）和粗细（越粗值越大）均反映 *t* 值。

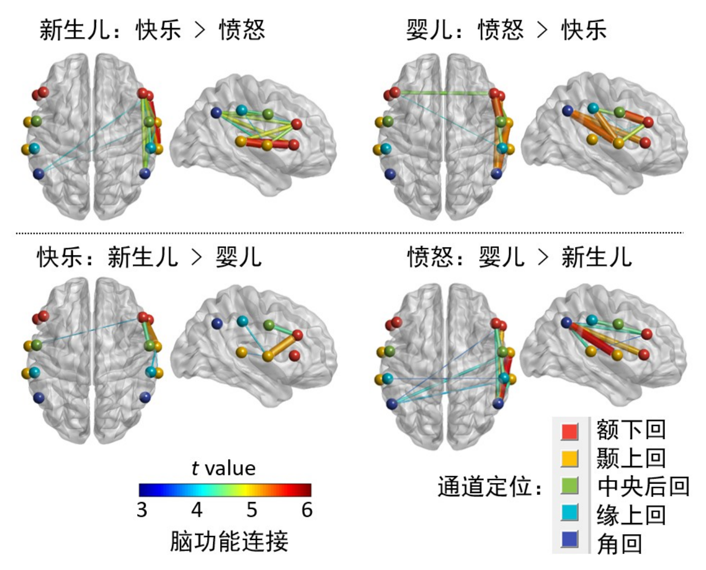


图 3 情绪类别和组别对脑功能连接的交互作用（简单效应检验结果）。第一行图：新生儿组的正性偏向（快乐 > 愤怒）和婴儿组的负性偏向（愤怒 > 快乐）。第二行图：加工正性韵律语音的脑功能连接在两个年龄组中的差异（新生儿 > 婴儿）和加工负性韵律语音的脑功能连接在两个年龄组中的差异（新生儿 < 婴儿）。对交互作用显著（FWE 矫正）的脑功能连接，在愤怒、快乐、中性三种条件间进行两两比较（Bonferroni 矫正），图中为情绪间差异显著的脑功能连接（FWE 矫正）。

表 2 情绪和组别对脑功能连接的交互作用

通道编号	组别×情绪 F	组别×情绪 p	新生儿组 快乐 > 愤怒	婴儿组 愤怒 > 快乐	快乐语音 新生儿 > 婴儿	愤怒语音 婴儿 > 新生儿
2-9	9.73	0.011		$t = 4.59, p = 0.004$		
2-13	12.18	0.001		$t = 4.08, p = 0.027$		
3-9	8.48	0.031			$t = 3.91, p = 0.016$	
6-13	10.47	0.007				$t = 3.61, p = 0.046$
7-8	12.15	0.001	$t = 4.06, p = 0.029$			$t = 3.66, p = 0.039$
7-10	9.81	0.012	$t = 3.96, p = 0.041$			$t = 4.16, p = 0.007$
7-12	8.36	0.040				$t = 3.92, p = 0.016$
8-12	16.00	0.000	$t = 5.69, p = 0.000$			
8-13	10.03	0.015		$t = 4.05, p = 0.030$		
8-14	18.2	0.00	$t = 4.74, p = 0.002$	$t = 5.17, p =$		$t = 5.09, p =$

	1	0		0.000		0.000
9-10	15.10	0.000	$t = 4.59, p = 0.004$	$t = 4.68, p = 0.003$	$t = 5.14, p = 0.000$	
9-11	17.04	0.000	$t = 3.93, p = 0.046$	$t = 5.41, p = 0.000$	$t = 4.39, p = 0.003$	
9-12	15.50	0.000	$t = 4.80, p = 0.002$	$t = 4.07, p = 0.028$		$t = 3.63, p = 0044$
9-13	14.74	0.000	$t = 3.96, p = 0.041$	$t = 4.59, p = 0.004$		$t = 4.45, p = 0.002$
9-14	13.26	0.001	$t = 4.65, p = 0.003$			$t = 4.23, p = 0.005$
10-12	9.67	0.040	$t = 5.46, p = 0.000$		$t = 3.82, p = 0.022$	
10-13	14.01	0.001	$t = 4.01, p = 0.034$	$t = 5.20, p = 0.000$	$t = 4.00, p = 0.012$	
10-14	17.93	0.000	$t = 4.30, p = 0.012$	$t = 5.29, p = 0.000$		$t = 5.66, p = 0.000$
11-13	9.46	0.016	$t = 4.38, p = 0.009$			
11-14	11.76	0.002	$t = 4.63, p = 0.003$			$t = 3.59, p = 0.049$
12-14	9.39	0.025				$t = 4.27, p = 0.004$

表中所有的 p □，在 91 个通道配对间进行了 FEW 矫正。

4 讨论

本研究基于 NIRS 技术、以脑功能连接为测量指标，考察了 0 岁和 1 岁婴儿对快乐和愤怒韵律性语音的大脑反应。实验结果证实了我们的假设：新生儿对情绪韵律的加工表现为正性偏向，而 1 岁婴儿则表现为负性偏向，且上述结果主要在大脑右半球的额叶、颞叶和顶叶的脑功能连接中发现。

本研究最重要的发现是情绪和组别的交互作用。从组内比较的结果可以看出，新生儿组在 14 对脑连接上发现了显著的正性偏向，即快乐语音条件下脑功能连接强度高于愤怒语音条件，该结果与已有的四项新生儿研究一致（Farroni et al., 2007; Mastropieri & Turkewitz, 1999; Zhang et al., 2019; 张丹丹等, 2019）；婴儿组在 10 对脑连接上发现了负性偏向，即愤怒语音条件下脑功能连接强度高于快乐语音条件，这一结果符合“半岁之后婴儿情绪负性偏向”的已知结论（Grossmann et al., 2010; Hoehl & Striano, 2010; Peltola et al., 2009）。虽然我们的这些发现在已有的文献中已分别得到了报道，但本研究是针对情绪偏向的首项发展性研究，直接对比了处于不同发展阶段的被试的情绪加工偏向。我们在

同一情绪条件下的组间比较结果说明，人类出生后对正性和负性情绪的敏感性是随着发展阶段的不同而改变的：对于快乐情绪语音，新生儿组在 5 对脑连接中比婴儿组的连接强度更强；对于愤怒情绪语音，婴儿组在 11 对脑连接中比新生儿组的连接强度更强。

上述结果初步证明了我们的假设：人类刚出生时其情绪加工偏向是正性的，之后才逐渐转变成为负性。我们认为情绪偏向的这种发展和转变，符合从新生儿到婴幼儿阶段的生理和认知能力的发展规律，体现了人类在发育早期过程中的高度适应性。在刚出生的头半年，新生儿及小婴儿还非常弱小、娇嫩，需要被抚养者细心呵护。因此，在这一阶段他们需要对来自父母等抚养者的正性情绪信息（例如微笑的表情、带有愉悦韵律的话语）高度敏感（Jahromi et al., 2004），并习得正性情绪线索与良好照料（喂食、抚摸、拥抱）之间的联结。他们对正性情绪线索和良好照料做出的适当反应，就是对抚养者进一步付出关爱和照料的督促和鼓励。而此阶段他们的运动能力尚未发展，几乎不会暴露在危险的情境中，因此也不需要对负性情绪信息进行优先加工。待婴儿发育到半岁以后，他们逐渐具有了爬、走、跑、跳等运动能力，开始主动探索周边世界，也时常将自己置于较危险的情境中。此时，婴儿需要对负性信息（例如抚养者的呵斥或惊恐表情）进行准确地加工（Grossmann et al., 2010; Hoehl & Striano, 2010; Peltola et al., 2009）和快速应对（LoBue & DeLoache, 2010），并牢记这些负性情境和相关线索（Paley & Alpert, 2003），才能使自己免受或少受伤害。

认识上述情绪偏向的发展规律，可以帮助我们及早发现情绪和认知发育有障碍的患儿，特别是自闭症患儿。已有研究发现，与健康对照婴儿相比：4-7 月龄的自闭症高危患儿对悲伤哭声的梭状回和海马神经活动显著降低（Blasi et al., 2015）；9 月龄的自闭症高危患儿对韵律性语音的杏仁核活动降低，语言学习相关的脑网络激活不足，且后者可以预测幼儿 3 岁时的语言表达能力（Liu et al., 2021）；9 月龄的自闭症高危患儿在观看微笑表情时脑电 Nc 和 P400 成分的幅度和潜伏期异常（Key et al., 2015）；3 岁确诊的自闭症患儿在他们 1-3 岁的行为测试中表现出对痛苦表情的低关注度和低反应性（Hutman et al., 2010）。在这些已有研究的基础上，本研究为情绪和认知障碍患儿的早期筛查提供了两点帮助：一是明确了新生儿时期大脑对情绪韵律语音加工的正性偏向，二是揭示了从新生儿到 1 岁的情绪加工偏向的发展方向。在已有预测指标的基础上增

加更早期指标以及纵向发展性指标，可帮助提高疾病的早筛效率和准确度。

同时，认识情绪偏向的发展规律，还能指导家长科学育儿。婴儿从出生到半岁之前表现为正性情绪偏向。这个阶段家长应根据他们的需求进行积极回应，给予充分的关注和悉心的照料，帮助孩子形成积极的情感期待和安全的依恋关系（Gerhardt, 2014）。例如，父母应采用欢快语调并面带微笑地与小婴儿进行交流，以促进他们的情绪发展（Filippa et al., 2019）。半岁之后，婴儿的情绪偏向逐渐转为负性，他们从坐立到爬行，运动能力快速发展。此阶段父母应鼓励婴儿对外部世界进行探索，并在适当时给予负性情绪信号（

愉悦的表情、口头警告等），帮助孩子习得威胁信号的含义，记住危险情境并远离危险。此时安全教育也应提上日程，家长可通过直观演示和讲解，让孩子了解某些动作和事物的危险性以及可能导致的后果。

根据 NIRS 通道的空间定位（表 1），本研究的实验效应主要在以下脑区间的功能连接上发现：颞上回（superior temporal gyrus, STG）、额下回（inferior frontal gyrus, IFG）、缘上回（supramarginal gyrus, SMG）以及角回（angular gyrus, AG）；同时，条件间差异显著的脑功能连接具有明显的右偏侧化优势。这些发现与我们前一项新生儿情绪韵律研究的结果基本一致（Zhang et al., 2019）。语音韵律是情绪信息的重要载体，大量成人研究已揭示了情绪性语音韵律加工的脑机制（参见综述 Brück et al., 2011）：语音中韵律的物理特征首先被初级听觉皮层以及右侧 STG 和颞上沟进行提取和分析，初步将语言划分为正性、中性和负性；接着右侧 IFG 对情绪韵律特征进行整合和精细评估，进一步区分出快乐、愤怒、悲伤、惊讶等不同情绪类别（Ethofer et al., 2012; Kirby & Robinson, 2017; Kotz et al., 2013; 另见综述 Schirmer et al., 2006）。此外，成人研究还发现，右侧 SMG 等顶叶脑区也参与韵律（Hartwigsen et al., 2010）和情绪加工（Adolphs et al., 2000）。例如，右侧或双侧 SMG 对高唤醒度的语音材料（例如由恐惧或疼痛引发的尖叫）高度敏感（Aryani et al., 2018; Köchel et al., 2013）。与本研究更相关的新生儿和婴儿研究发现：人类刚出生后对语音韵律的加工不仅依赖于右侧颞叶和额叶（Grossmann et al., 2010），还需要顶叶 SMG 和 AG 等脑区的协同参与（Arimitsu et al., 2011; Saito et al., 2007）。本研究在 0~1 岁的年龄段，为语音韵律加工的大脑右侧化优势提供了证据（右侧化优势的综述见 Belyk & Brown, 2014）。

本研究中新生儿阶段的结果，以及课题组前期的另两项新生儿研究（张丹丹等人, 2019; Zhang et al., 2019），与 Cheng 等人（2012）的研究发现是不一致的，后者认为新生儿的情绪加工是负性偏向的。造成结果不一致的原因，可能是因为 Cheng 等人（2012）采用了非经典的 odd-ball 范式，以中性韵律音节作为标准刺激（80%），以高兴和恐惧韵律音节作为两种偏差刺激（各 10%），进而发现恐惧语音在右侧额叶的一个电极点（F4）诱发了比高兴语音幅度更大的脑电“失匹配”成分。双偏差刺激降低了 odd-ball 范式对新异刺激的探测效力，从而可能会降低实验结果的有效性。同时，考虑到新生儿实验过程中明显的体动、眼动等运动伪迹， 新生儿脑电数据的信噪比要远低于成人的脑电数据，而且也不如新生儿近红外数据稳定，因此 Cheng 等人（2012）的发现可能还需要进一步的研究来验证（例如增加被试量、增多脑电数据的试次）。

5 结论

通过从两个时间点（0 岁和 1 岁）考察大脑对情绪韵律语音的反应，本研究首次从发展的角度揭示了情绪偏向的变化：人类刚出生时情绪加工偏向是正性的，新生儿大脑右侧的颞上区、额下区以及缘上回、角回等顶叶脑区对快乐语音比对愤怒语音显示出更强的脑功能连接。大婴儿的情绪加工偏向发生了转变：1 周岁婴儿大脑的上述区域对愤怒语音比对快乐语音的脑功能连接更强。因此，在成人及儿童青少年中发现的稳定的“负性偏向”并不是与生俱来的，情绪加工偏向存在从正性偏向到负性偏向的发展性改变。未来的研究需要纳入更多的年龄点（例如 0、3、6、9、12 月龄的婴儿）或者在多个时间点纵向考察 0~1 岁婴儿，从而更精细地揭示情绪偏向在人类早期发展阶段的变化规律。

参考文献

Adolphs, R., Damasio, H., Tranel, D., Cooper, G., & Damasio, A. R. (2000). A role for somatosensory cortices in the visual recognition of emotion as revealed by three-dimensional lesion mapping. *Journal of Neuroscience*, *20*(7), 2683-2690.

Arimitsu, T., Uchida-Ota, M., Yagihashi, T., Kojima, S., Watanabe, S., Hokuto, I., … Minagawa-Kawai, Y. (2011). Functional hemispheric specialization in processing phonemic and prosodic auditory changes in neonates. *Frontiers in Psychology, 2*, 202.

Aryani, A., Hsu, C. T., & Jacobs, A. M. (2018). The sound of words evokes affective brain responses. *Brain*

Sciences, *8*(6), 94.

Baumeister, R. F., Bratslavsky, E., Finkenauer, C., & Vohs, K. D. (2001). Bad is stronger than good. *Review of General Psychology*, *5*(4), 323-370.

Bayley, N. (2006). Bayley Scales of Infant and Toddler Development– Third Edition. San Antonio, TX: Harcourt Assessment".

Belyk, M., & Brown, S. (2014). Perception of affective and linguistic prosody: an ALE meta-analysis of neuroimaging studies. *Social Cognitive and Affective Neuroscience*, *9*(9), 1395-1403.

Blasi, A., Lloyd-Fox, S., Sethna, V., Brammer, M. J., Mercure, E., Murray, L., Williams, S. C. , Simmons, A., Murphy, D. G. , & Johnson, M. H. (2015). Atypical processing of voice sounds in infants at risk for autism spectrum disorder. *Cortex, 71*, 122-133.

Bowen, H. J., Kark, S. M., & Kensinger, E. A. (2018). NEVER forget: negative emotional valence enhances recapitulation. *Psychonomic Bulletin & Review*, *25*(3), 870-891.

Brigadoi, S., Aljabar, P., Kuklisova-Murgasova, M., Arridge, S. R., & Cooper, R. J. (2014). A 4D neonatal head model for diffuse optical imaging of pre-term to term infants. *Neuroimage*, *100*, 385-394.

Brück, C., Kreifelts, B., & Wildgruber, D. (2011). Emotional voices in context: a neurobiological model of multimodal affective information processing. *Physics of Life Reviews*, *8*(4), 383-403.

Cacioppo, J. T., Cacioppo, S., & Gollan, J. K. (2014). The negativity bias: Conceptualization, quantification, and individual differences. *Behavioral and Brain Sciences*, *37*(3), 309.

Cheng, Y.W., Lee, S. Y., Chen, H. Y., Wang, P. Y., & Decety, J. (2012). Voice and emotion processing in the human neonatal brain. *Journal of Cognitive Neuroscience, 24*(6), 1411–1419.

Cope, M., & Delpy, D. T. (1988). System for long-term measurement of cerebral blood and tissue oxygenation on newborn infants by near infra-red transillumination. *Medical and Biological Engineering and Computing*, *26*(3), 289-294.

Ethofer, T., Bretscher, J., Gschwind, M., Kreifelts, B., Wildgruber, D., & Vuilleumier, P. (2012). Emotional voice areas: Anatomic location, functional properties, and structural connections revealed by combined fMRI/DTI. *Cerebral Cortex, 22*(1), 191–200

Farroni, T., Menon, E., Rigato, S., & Johnson, M. H. (2007). The perception of facial expressions in newborns. *European Journal of Developmental Psychology, 4*(1), 2–13.

Fernald, A. (1993). Approval and disapproval: Infant responsiveness to vocal affect in familiar and unfamiliar languages. *Child Development, 64*(3), 657–674.

Filippa, M., Monaci, M. G., & Grandjean, D. (2019). Emotion attribution in nonverbal vocal communication directed to preterm infants. *Journal of Nonverbal Behavior*, *43*(1), 91-104.

Fivush, R. (1991). Gender and emotion in mother-child conversations about the past. *Journal of Narrative and Life History*, *1*(4), 325-341.

Gerhardt, S. (2014). *Why love matters: How affection shapes a baby's brain*. Routledge.

Gómez, D. M., Berent, I., Benavides-Varela, S., Bion, R. A., Cattarossi, L., Nespor, M., & Mehler, J. (2014). Language universals at birth. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *111*(16), 5837-5841.

Grandjean, D., Sander, D., Pourtois, G., Schwartz, S., Seghier, M. L., Scherer, K. R., & Vuilleumier, P. (2005). The voices of wrath: brain responses to angry prosody in meaningless speech. *Nature Neuroscience*, *8*(2), 145-146.

Griffiths, R. (1984). *The abilities of young children: A comprehensive system of mental measurement for the first eight years of life*. Association for Research in Infant and Child Development.

Grossmann, T. (2010). The development of emotion perception in face and voice during infancy. *Restorative Neurology and Neuroscience, 28*(2), 219–236.

Grossmann, T., Oberecker, R., Koch, S. P., & Friederici, A. D. (2010). The developmental origins of voice

processing in the human brain. *Neuron, 65*(6), 852–858.

Hartwigsen, G., Baumgaertner, A., Price, C. J., Koehnke, M., Ulmer, S., & Siebner, H. R. (2010). Phonological decisions require both the left and right supramarginal gyri. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *107*(38), 16494-16499.

Hoehl, S., & Striano, T. (2010). The development of emotional face and eye gaze processing. *Developmental Science, 13*(6), 813–825.

Hutman, T., Rozga, A., DeLaurentis, A. D., Barnwell, J. M., Sugar, C. A., & Sigman, M. (2010). Response to distress in infants at risk for autism: a prospective longitudinal study. *Journal of Child Psychology and Psychiatry, 51*(9), 1010-1020.

Ito, T. A., Larsen, J. T., Smith, N. K. &, Cacioppo, J. T. (1998). Negative information weighs more heavily on the brain: The negativity bias in evaluative categorizations. *Journal of Personality and Social Psychology, 75*(4), 887–900.

Jahromi, L. B., Putnam, S. P., & Stifter, C. A. (2004). Maternal regulation of infant reactivity from 2 to 6 months. *Developmental Psychology*, *40*(4), 477.

Key, A. P., Ibanez, L. V., Henderson, H. A., Warren, Z., Messinger, D. S., & Stone, W. L. (2015). Positive affect processing and joint attention in infants at high risk for autism: an exploratory study. *Journal of Autism and Developmental Disorders, 45*(12), 4051-4062.

Kirby, L. A., & Robinson, J. L. (2017). Affective mapping: An activation likelihood estimation (ALE) meta-analysis. *Brain and Cognition*, *118*, 137-148.

Köchel, A., Schöngassner, F., & Schienle, A. (2013). Cortical activation during auditory elicitation of fear and disgust: a near-infrared spectroscopy (NIRS) study. *Neuroscience Letters*, *549*, 197-200.

Kotz, S. A., Kalberlah, C., Bahlmann, J., Friederici, A. D., & Haynes, J. D. (2013). Predicting vocal emotion expressions from the human brain. *Human Brain Mapping*, *34*(8), 1971-1981.

LaBarbera, J. D., Izard, C. E., Vietze, P., & Parisi, S. A. (1976). Four- and six-month-old infants' visual response to joy, anger and neutral expressions. *Child Development, 47*(2), 535–538.

Liu, P., & Pell, M. D. (2012). Recognizing vocal emotions in Mandarin Chinese: A validated database of Chinese vocal emotional stimuli. *Behavior Research Methods*, *44*(4), 1042-1051.

Liu, J., Tsang, T., Ponting, C., Jackson, L., Jeste, S. S., Bookheimer, S. Y., & Dapretto, M. (2021). Lack of neural evidence for implicit language learning in 9-month-old infants at high risk for autism. *Developmental Science, 24(*4), e13078.

LoBue, V., & DeLoache, J. S. (2010). Superior detection of threat-relevant stimuli in infancy. *Developmental Science*, *13*(1), 221-228.

Marusak, H. A., Zundel, C. G., Brown, S., Rabinak, C. A., & Thomason, M. E. (2017). Convergent behavioral and corticolimbic connectivity evidence of a negativity bias in children and adolescents. *Social Cognitive and Affective Neuroscience*, *12*(4), 517-525.

Mastropieri, D., & Turkewitz, G. (1999). Prenatal experience and neonatal responsiveness to vocal expressions of emotion. *Developmental Psychobiology, 35*(3), 204–214.

Paley, J., & Alpert, J. (2003). Memory of infant trauma. *Psychoanalytic Psychology*, *20*(2), 329.

Peltola, M. J., Leppänen, J. M., Mäki, S., & Hietanen, J. K. (2009). Emergence of enhanced attention to fearful faces between 5 and 7 months of age. *Social Cognitive and Affective Neuroscience, 4*(2), 134–142.

Rigato, S., Farroni, T. & Johnson, M. H. (2010). The shared signal hypothesis and neural responses to expressions and gaze in infants and adults. *Social Cognitive and Affective Neuroscience, 5*(1), 88–97.

Saito, Y., Aoyama, S., Kondo, T., Fukumoto, R., Konishi, N., Nakamura, K., … Toshima, T. (2007). Frontal cerebral blood flow change associated with infant-directed speech. *Archives of Disease in Childhood. Fetal and Neonatal Edition, 92*(2), F113–F116.

Schirmer, A., & Kotz, S. A. (2006). Beyond the right hemisphere: brain mechanisms mediating vocal emotional processing. *Trends in Cognitive Sciences*, *10*(1), 24-30.

Shi, F., Yap, P. T., Wu, G., Jia, H., Gilmore, J. H., Lin, W., & Shen, D. (2011). Infant brain atlases from neonates to 1-and 2-year-olds. *PloS One*, *6*(4), e18746.

Singh, L., Morgan, J. L., & Best, C. T. (2002). Infants'listening preferences: Baby talk or happy talk? *Infancy, 3*(3), 365–394.

Soroka, S., Fournier, P., & Nir, L. (2019). Cross-national evidence of a negativity bias in psychophysiological reactions to news. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *116*(38), 18888-18892.

Telkemeyer, S., Rossi, S., Koch, S. P., Nierhaus, T., Steinbrink, J., Poeppel, D., … Wartenburger, l. (2009). Wartenburger, Sensitivity of newborn auditory cortex to the temporal structure of sounds. *Journal of Neuroscience, 29*(47), 14726–14733.

Tzourio-Mazoyer, N., Landeau, B., Papathanassiou, D., Crivello, F., Etard, O., Delcroix, N., ... & Joliot, M. (2002). Automated anatomical labeling of activations in SPM using a macroscopic anatomical parcellation of the MNI MRI single-subject brain. *Neuroimage*, *15*(1), 273-289.

Vaish, A., Grossmann, T., & Woodward, A. (2008). Not all emotions are created equal: The negativity bias in social-emotional development. *Psychological Bulletin, 134*(3), 383–403.

Wu, Y. J., Hou, X., Peng, C., Yu, W., Oppenheim, G. M., Thierry, G., & Zhang, D. (2022). Rapid learning of a phonemic discrimination in the first hours of life. *Nature Human Behaviour*, 1-11.

Xia, M., Wang, J., & He, Y. (2013). BrainNet Viewer: a network visualization tool for human brain connectomics. *PloS One*, *8*(7), e68910.

Zhang, D. , Liu, Y. , Hou, X. , Sun, G. , Cheng, Y. , & Luo, Y. (2014). Discrimination of fearful and angry emotional voices in sleeping human neonates: A study of the mismatch brain responses. *Frontiers in Behavioral Neuroscience, 8*, 422.

Zhang, D., Chen, Y., Hou, X., & Wu, Y. J. (2019). Near-infrared spectroscopy reveals neural perception of vocal emotions in human neonates. *Human Brain Mapping*, *40*(8), 2434-2448.

Zhang, D., Chen, Y., Ao, X., Sun, G., Liu, L., Hou, X., & Chen, Y. (2019). Early preference for positive over negative prosody in neonates: Evidence based on event-related potentials. *Acta Psychologica Sinica, 51*(4), 462-470.

[张丹丹, 陈钰, 敖翔, 孙国玉, 刘黎黎, 侯新琳, 陈玉明. (2019). 新生儿情绪性语音加工的正性偏向——来自事件相关电位的证据. 心理学报, *51*(4), 462-470.]

Development of emotional bias in infants aged from 0 to 1 year old: A near-infrared spectroscopy study

ZHANG Dandan [1, 2]; LI Yiwei [1]; YU Wenwen [2]; MO Licheng [1, 2]; PENG Cheng [3]; LIU Lili [3]

([1] Institute of Brain and Psychological Sciences, Sichuan Normal University, Chengdu 610066, China.)
([2] Shenzhen-Hong Kong Institute of Brain Science, Shenzhen 518055, China)
([3] Department of Pediatrics, Peking University First Hospital, Beijing 100034, China)

Abstract

People tend to give priority to negative information and allocate more cognitive resources such as perception, attention and memory to negative, compared to positive, information. This phenomenon is called "negativity bias", which is well established across toddlers, children, adolescents and adults. However, this emotional bias remains controversial in infants, especially in young infants that are less than six months old. Furthermore, it is still unclear whether the emotional bias changes from no bias or positivity bias to negativity bias during infants' development in the first year of life.

In this study, we used near-infrared spectroscopy to examine the neural responses to angry and happy prosodies in 45 neonates (0 month old) and 45 infants (one year old). The experiment was conducted in the neonatal ward of Peking University First Hospital. NIRS data were recorded when the infants were at active sleeping or staying quietly. Using a passive listening task, we investigated the brain functional connectivity during automatic processing of emotional prosodies of anger and happiness. The experiment was divided into three emotional blocks (using angry, happy and neutral prosodies, respectively). The order of the three blocks was counterbalanced among the participants. Each block contained 10 sentences, which

were repeated six times, that is, 60 sentences were presented during the experiment in a random order.

The results showed that emotion category had a significant main effect on 60 pairs of functional connectivity, which revealed that angry and happy prosodies evoked stronger functional connectivity than neutral prosody, whereas there was no significant difference between the angry and happy conditions. The observed significant functional connectivity was mainly distributed within the right hemisphere or across bilateral hemispheres. More importantly, there was an interaction between emotion category and group in the functional connectivity of frontal, temporal and parietal lobe of the right hemisphere. In the neonate group, the functional connectivity in the happy prosody condition was stronger than that in the angry prosody condition. By contrast, the functional connectivity in the infant group showed stronger connectivity in the angry compared to the happy condition.

By examining the neural response to emotional prosodies at two time points (0 and 1 year old), this study revealed for the first time the changes of emotional bias in a developmental perspective. We found that emotional processing has a positive bias at the beginning of postnatal period, revealed by the stronger functional connectivity for happy than for angry prosodies at the right hemisphere of the superior temporal gyrus, the inferior frontal gyrus, the supramarginal gyrus, and the angular gyrus. However, the emotional processing bias reverses in 1-year-old infants, that is, the brain functional connectivity within the above mentioned brain regions is stronger for angry than that for happy prosodies. Therefore, the reliable phenomenon of "negativity bias" is not innate, although it is always observed in adults and children. Instead, we propose that there is a developmental change from positivity bias to negativity bias in the first year of human life.

Keywords: negativity bias, neonate, infant, affective prosody, superior temporal gyrus, inferior frontal gyrus